

Ярославский государственный педагогический
университет им. К. Д. Ушинского

Лабораторная работа № 11

Изучение микроскопа

Ярославль
2014

Оглавление

1.	Вопросы для подготовки к работе	3
2.	Теоретическое введение	3
3.	Описание установки	6
4.	Порядок выполнения работы	8
	Задание 1.	8
	Задание 2.	8
	Задание 3.	9
	Задание 4.	11
	Задание 5.	11
5.	Контрольные вопросы	12
6.	Приложения	13
	6.1. Рисовальный аппарат	13
	6.2. Микроскоп с рисовальным аппаратом	15
	6.3. Источник света	16
	6.4. Использование рисовального аппарата в отраженном свете	16

Составители: В.К. Мухин, старший преподаватель кафедры общей физики
Г.В. Жусь, кандидат технических наук, доцент кафедры
общей физики

Лабораторная работа № 11

Изучение микроскопа

Цель работы: изучение принципа работы микроскопа, назначения его отдельных частей, экспериментальное определение его увеличения, определение размеров малых объектов.

Приборы и принадлежности: микроскоп МБР-I, объективный микрометр, рисовальный аппарат РА-6, исследуемые объекты (волос на стекле, тонкие стеклянные пластинки с царапинами), окуляр с отсчетной шкалой.

Литература:

1. Александров Н.В. и др. Практикум по курсу общей физики. Выпуск 4. – М.: Просвещение, 1972.
2. Ландсберг Г.С. Оптика. – М.: Наука, 1976.

1. Вопросы для подготовки к работе

1. Устройство и работа оптических приборов, вооружающих глаз: лупы, зрительной трубы (Кеплера, Галилея).
2. Устройство микроскопа и ход лучей в его оптической системе.
3. В чем заключается явление аккомодации глаза?
4. Почему масштабная линейка должна находиться на вполне определенном расстоянии от рисовального аппарата?

2. Теоретическое введение

Глаз человека не может различать удаленных предметов или близких, но достаточно малых, если угол зрения, под которым они рассматриваются, меньше одной минуты. Угол зрения — это угол между лучами, идущими в глаз от крайних точек рассматриваемого предмета (рис. 2.1). С уменьшением расстояния от предмета до глаза угол зрения увеличивается, но существует минимальное расстояние, на котором глаз еще способен видеть предмет. Этому минимальному расстоянию соответствует максимальная напряженность мышц хрусталика глаза. Такое состояние называется пределом аккомодации глаза.

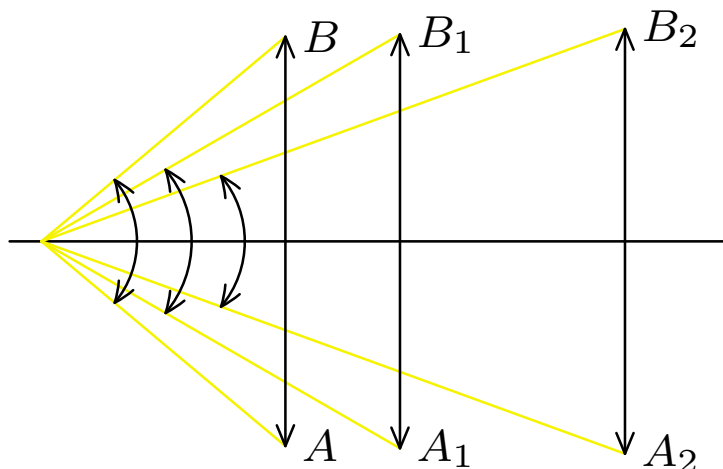


Рис. 2.1

Для рассматривания достаточно мелких объектов, надо искусственно увеличивать угол зрения. Для этого служат оптические инструменты. К основным увеличивающим угол зрения оптическим приборам относятся: лупа, зрительная труба, микроскоп.

Рассмотрим принцип действия микроскопа.

а) Получение изображения в микроскопе.

Оптическая схема микроскопа приведена на рис. 2.2. Ход лучей дан в предположении, что глаз наблюдателя аккомодирован **не на бесконечность**.

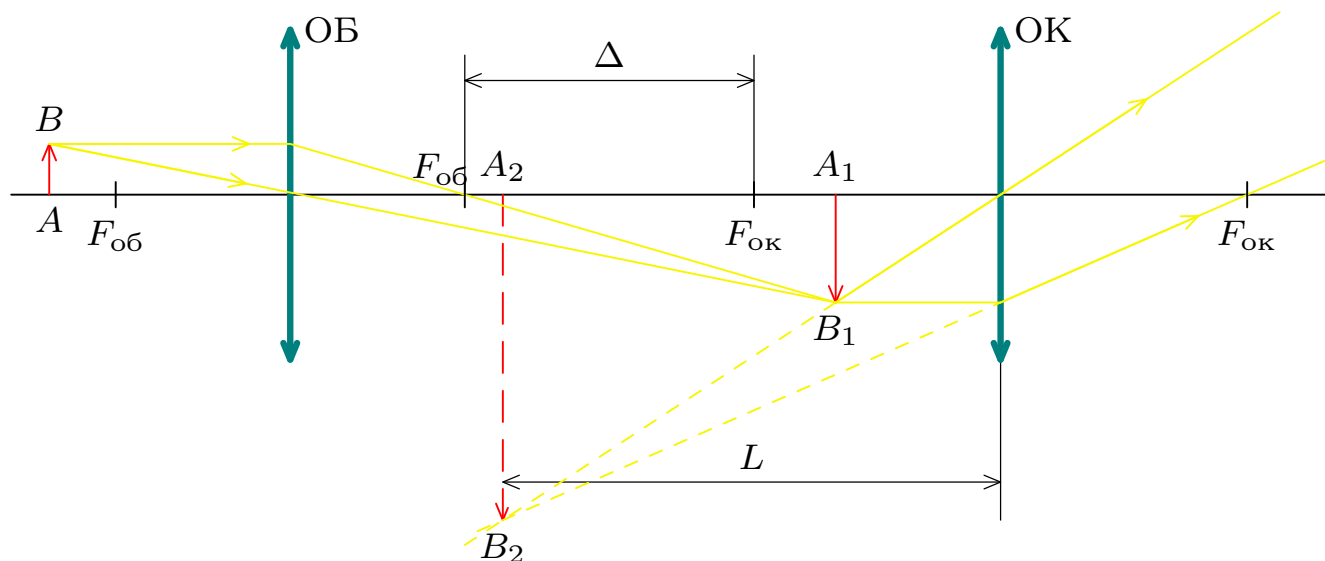


Рис. 2.2

Объектив микроскопа должен давать действительное и увеличенное изображение малых предметов. Поэтому рассматриваемый объект AB располагается немного дальше главного фокуса объектива (фокусное расстояние объектива порядка нескольких мм), изображение A_1B_1 предмета AB получается за двойным фокусным расстоянием по другую сторону объектива. Изображение A_1B_1 , даваемое

объективом, рассматривается в окуляр. Окуляр действует как лупа, т.е. дает мнимое увеличенное изображение A_2B_2 предмета AB . Для этого действительное изображение A_1B_1 должно располагаться между окуляром и его главным фокусом достаточно близко к фокальной плоскости окуляра.

Одной из основных характеристик микроскопа является его увеличение, которое можно рассчитать по формуле:

$$\left. \begin{aligned} k_{\text{об.}} &= \frac{\Delta}{f_{\text{об.}}} \\ k_{\text{ок.}} &= \frac{L}{f_{\text{ок.}}} \end{aligned} \right\} \Rightarrow k = k_{\text{об.}} \cdot k_{\text{ок.}} = \frac{\Delta \cdot L}{f_{\text{об.}} \cdot f_{\text{ок.}}}, \quad (2.1)$$

где Δ — оптическая длина тубуса микроскопа;
 L — расстояние наилучшего зрения, равное 250 мм;
 $f_{\text{об.}}$ — фокусное расстояние объектива;
 $f_{\text{ок.}}$ — фокусное расстояние окуляра.

Практически увеличение микроскопа можно найти путем сравнения размеров изображения A_2B_2 с размерами предмета AB по формуле

$$k = \frac{A_2B_2}{AB}. \quad (2.2)$$

Для этого в качестве предмета AB надо взять малый объект известных размеров, например, выпускаемый промышленностью **объективный микрометр**. Он представляет собой прозрачную или непрозрачную пластинку, на которую нанесена мелкая шкала с известной ценой деления. Изображение этой шкалы, даваемое микроскопом, измеряется обычной масштабной линейкой. Тогда

$$AB = aN_1, \quad A_2B_2 = bN_2,$$

где a — цена деления объективного микрометра,
 N_1 — число делений микрометра,
 b — цена деления измерительной линейки,
 N_2 — число делений этой линейки.

Увеличение микроскопа находится как

$$k = \frac{bN_2}{aN_1}. \quad (2.3)$$

б) Измерение толщины прозрачных объектов.

Микроскоп обладает свойством острой фокусировки, т.е. он дает отчетливое изображение предметов, лежащих в очень тонком слое. Микрометрический винт B позволяет точно измерить перемещение тубуса, а это дает возможность определять расстояние между двумя горизонтальными плоскостями в прозрачной среде, где находятся наблюдаемые объекты.

Таким образом, для измерения толщины прозрачной пластинки надо произвести фокусировку микроскопа сначала на микрообъекты, находящиеся в одной плоскости (например, на верхней поверхности пластинки), а затем на микрообъекты во второй плоскости (например, на нижней поверхности пластинки) и рассчитать расстояние по соответствующему повороту головки микрометрического винта. При этом, однако, необходимо принять во внимание, что истинное расстояние между плоскостями, на которые фокусируется микроскоп в прозрачной среде, больше перемещения тубуса в h раз:

$$h = nh_1, \quad (2.4)$$

где n — показатель преломления,
 h — действительная толщина,
 h_1 — оптическая толщина (перемещение тубуса).

3. Описание установки

Микроскоп состоит из тубуса T , предметного столика C и осветительного устройства $ОУ$ (рис. 3.1). Тубус микроскопа укреплен над столиком, на который кладут рассматриваемый предмет. Под столиком находится осветительный узел.

Оптическая система микроскопа состоит из двух систем линз: объектива $ОБ$, находящегося в нижней части тубуса и обращенного к предмету, а также окуляра $ОК$, находящегося в верхней части тубуса и обращенного к глазу.

Объектив представляет собой сложную систему линз, в которой устранены сферическая и хроматическая аберрации. Объектив является важнейшей частью микроскопа, определяющей качество изображения, его светосилу и разрешающую способность.

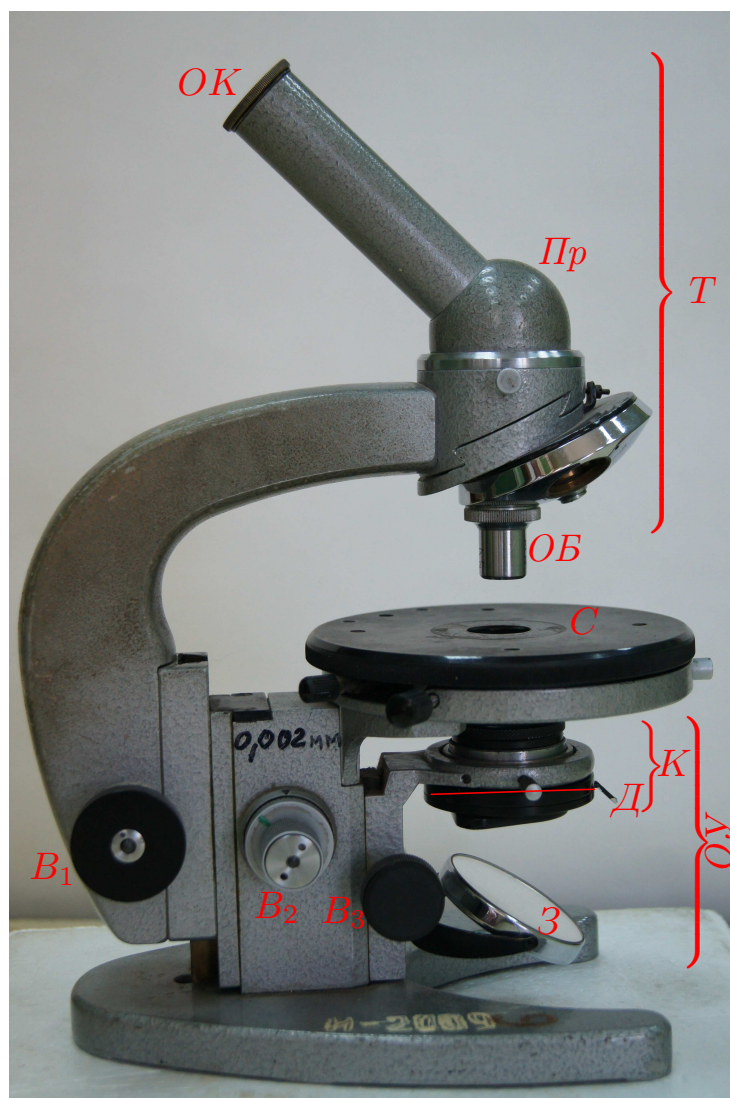


Рис. 3.1

Окуляр — это оптическая система, состоящая обычно из двух плосковыпуклых линз: полевой и глазной. Такая система позволяет устранить астигматизм.

Фокусировка микроскопа (т.е. "наводка на резкость") производится перемещением тубуса микроскопа в целом относительно объекта. Перемещение тубуса производится при помощи кремальеры, состоящей из шестеренки, вращением которой (рукоятки B_1 и B_2) передвигается зубчатая рейка, соединенная с тубусом. Большинство современных микроскопов имеют наклонный тубус (точнее, объектив закреплен вертикально, а окуляр — под некоторым углом к вертикали), что представляет несомненное удобство при работе с прибором. Достигнуто это благодаря применению отклоняющей призмы $ПР$, расположенной между объективом и окуляром.

Для измерительных целей в некоторые окуляры микроскопов помещают окулярные микрометры. Окулярный микрометр представляет собой стеклянную пластинку с нанесенной на нее отсчетной шкалой, которая устанавливается в фокальной плоскости окуляра микроскопа.

Осветительное приспособление микроскопа состоит из зеркала $\mathcal{Z}$ и конденсора K с диафрагмой $\mathcal{D}$. Зеркало направляет лучи от источника света вдоль оси микроскопа. Оно имеет две отражающие поверхности: плоскую и вогнутую. Вогнутая поверхность служит для конденсации света на рассматриваемый объект и применяется при отсутствии конденсора.

Конденсор представляет собой систему линз, собирающих свет, отраженный от плоского зеркала в сильно сходящийся пучок, направленный на рассматриваемый объект. Диафрагма $\mathcal{D}$ позволяет регулировать яркость поля зрения. Перемещение конденсора производится рукояткой B_3 при помощи кремальеры.

4. Порядок выполнения работы

Задание 1. Изучение устройства и принципа действия микроскопа.

Задание 2. Определение увеличения микроскопа.

Увеличение микроскопа определяют по формуле (2.3). Объективный микрометр в данной работе имеет шкалу, нанесенную на непрозрачную пластинку, с ценой деления 0,01 мм. Для определения размеров изображения A_2B_2 объективного микрометра, полученного в микроскопе, используйте обычную масштабную линейку с ценой деления 1 мм, которую совместите с изображением A_2B_2 с помощью рисовального аппарата. (Устройство и принцип действия рисовального аппарата РА-6 даны в приложении к работе.)

Для работы с аппаратом РА-6 снимите с микроскопа монокулярную насадку и на освободившееся место поставьте рисовальный аппарат. Сверху в гнездо аппарата (рис. 6.1) опять вставьте насадку и закрепите ее винтом (14). Включите в работу призму-куб поворотом кольца (19) до упора в направлении от себя. В оправе (17) должен лежать экранирующий диск. Положите под головку (12) на подставку с зачерненной поверхностью масштабную линейку (расстояние от

головки аппарата до линейки должно быть 100 мм). Кольцо (18), регулирующее положение панкратической системы линз, должно быть в одном из крайних положений: в крайнем правом, если установлен окуляр 7^X , или в крайнем левом, если — 10^X .

Отведите оправу (17) и, наблюдая в окуляр микроскопа, получите резкое изображение масштабной линейки вращением кольца (16). Если линейка плохо видна, то осветите ее настольной лампой. Затем закройте отверстие аппарата экранирующим диском, а на столик микроскопа Положите объективный микрометр. Осветите его сверху (т.к. пластинка непрозрачная) так, чтобы лучи падали на микрометр с торца приблизительно под углом 45° . Передвигая тубус микроскопа рукояткой B_1 , добейтесь появления в поле зрения шкалы микрометра. (Если шкалу обнаружить не удастся или она не вся видна, то слегка переместите объективный микрометр на столике микроскопа, пока шкала не попадет в поле зрения объектива. Если шкала видна, но плохо, то несколько измените угол падения лучей и добейтесь четкой видимости шкалы объективного микрометра.) После этого откройте шторку (17) рисовального аппарата и совместите изображение масштабной линейки и шкалы объективного микрометра.

Сосчитайте, на сколько делений N_2 масштабной линейки приходится $N_1 = 10$ делений шкалы объективного микрометра, и вычислите увеличение k микроскопа по формуле (2.3).

В данном эксперименте не имеет смысла проводить многократные измерения, так как при использовании рисовального аппарата РА-6 невозможно, точно выровнять расстояния от окуляра до плоскости изображения и от окуляра до масштабной линейки, а следовательно и систематическая ошибка будет значительной.

Сравните полученное значение k с теоретическим значением, полученным по формуле (2.1) (значения $k_{об}$ и $k_{ок}$ написаны на корпусах объектива и окуляра).

Задание 3. Определение цены деления шкалы окулярного микрометра.

Измерение линейных размеров объектов, видимых в микроскоп, осуществляется с помощью окулярного микрометра (отсчетная шкала в окуляре). Для использования окулярного микрометра в качестве измерителя необходимо знать цену его деления, которую определяют

с помощью объективного микрометра, цена деления которого известна.

Получите изображение шкалы объективного микрометра в микроскопе (как в задании 2, но без рисовального аппарата). Совместите изображение этой шкалы со шкалой окулярного микрометра и найдите число делений объективного микрометра (например 100), совпадающих с некоторым числом делений окулярного микрометра. Цену деления последнего определите по формуле

$$c = \frac{aN_1}{N_2}, \quad (4.5)$$

где N_1 — число делений объективного микрометра,
 N_2 — число делений окулярного микрометра,
 c — цена деления окулярного микрометра,
 a — цена деления объективного микрометра.

Измерения проведите не менее пяти раз. Данные измерений и расчетов занесите в таблицу 1.

Таблица 1

n	N_{1i}	N_{2i}	c_i	Δc_i	$(\Delta c_i)^2$
1					
2					
и т.д.					
			$c_{\text{ср.}}$		Σ

Оценку ошибки измерения проведите по формуле

$$\Delta c = t_{\alpha n} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta c_i)^2}{n(n-1)}}.$$

Окончательный результат запишите в виде

$$c = (c_{\text{ср}} \pm \Delta c) \text{ мм} \quad \text{при } \alpha = \dots$$

Задание 4. Определение линейных размеров предметов.

Теперь, зная цену деления окулярного микрометра, можно определить размеры объекта, рассматриваемого в микроскоп. Для этого вместо объективного микрометра на столик микроскопа положите исследуемый предмет (волосок, закрепленный на стекле) и осветите его снизу с помощью зеркала. Получите изображение объекта. Сосчитайте число делений N , которое укладывается на диаметре волоска, и, используя найденную цену деления окулярного микрометра, найдите искомую величину:

$$d = NC. \quad (4.6)$$

Измерения проведите не менее пяти раз. Данные измерений и расчетов занесите в таблицу 2.

Таблица 2

n	N_i	d_i	Δd_i	$(\Delta d_i)^2$
1				
2				
и т.д.				
		$d_{\text{ср.}}$		Σ

Оценку ошибки измерения проведите как и в предыдущем задании.

Окончательный результат запишите в виде

$$\alpha = (\alpha_{\text{ср}} \pm \Delta\alpha) \text{ мм} \quad \text{при } \alpha = \dots$$

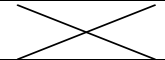
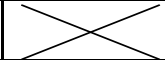
Задание 5. Определение действительной толщины стеклянной пластинки.

На обе поверхности стеклянной пластинки нанесены тонкие царапины во взаимно перпендикулярных направлениях. Установите микроскоп так, чтобы отчетливо были видны края царапины на одной из поверхностей (например, верхней). В этом положении снимите отсчет

микрометрического винта. Затем опустите тубус с помощью микрометрического винта (считая целое число оборотов) до такого положения, пока не будут отчетливо видны края царапины на нижней поверхности пластинки. Здесь вновь снимите отсчет микрометрического винта и найдите общее число делений, соответствующее повороту винта. Цена деления указана на лимбе. Зная ее, найдите величину смещения тубуса, то есть оптическую толщину пластинки, а затем по формуле (2.4) найдите действительную толщину пластинки. Показатель преломления стекла приблизительно равен 1,52.

Измерения проведите не менее пяти раз. Данные измерений и расчетов занесите в таблицу 3. Для сравнения действительную толщину пластинки измерьте микрометром.

Таблица 3

n	МИКРОСКОП					МИКРОМЕТР		
	h_{1i} (дел)	h_{1i} (мм)	h_i (мм)	Δh_i	$(\Delta h_i)^2$	h'_i	$\Delta h'_i$	$(\Delta h'_i)^2$
1								
2								
и т.д.								
			$h_{\text{ср.}}$		Σ	$h'_{\text{ср.}}$		Σ

Оценку ошибки измерений проведите как и в 3 задании. Окончательно результат запишите в виде

$$h = (h_{\text{ср}} \pm \Delta h) \text{ мм}$$

$$h' = (h'_{\text{ср}} \pm \Delta h') \text{ мм}$$

$$\text{при } \alpha = \dots$$

$$\text{при } \alpha = \dots$$

5. Контрольные вопросы

1. Как будет изменяться увеличение микроскопа, если изменять длину тубуса?
2. Что такое линейное и угловое увеличение оптических приборов?
3. Что такое "оптическая толщина" стеклянной пластинки?
4. Вывод формулы $h = nh_1$.

6. Приложения

6.1. Рисовальный аппарат

Рисовальный аппарат позволяет одновременно видеть в микроскоп изображение объекта и лист бумаги для его зарисовки.

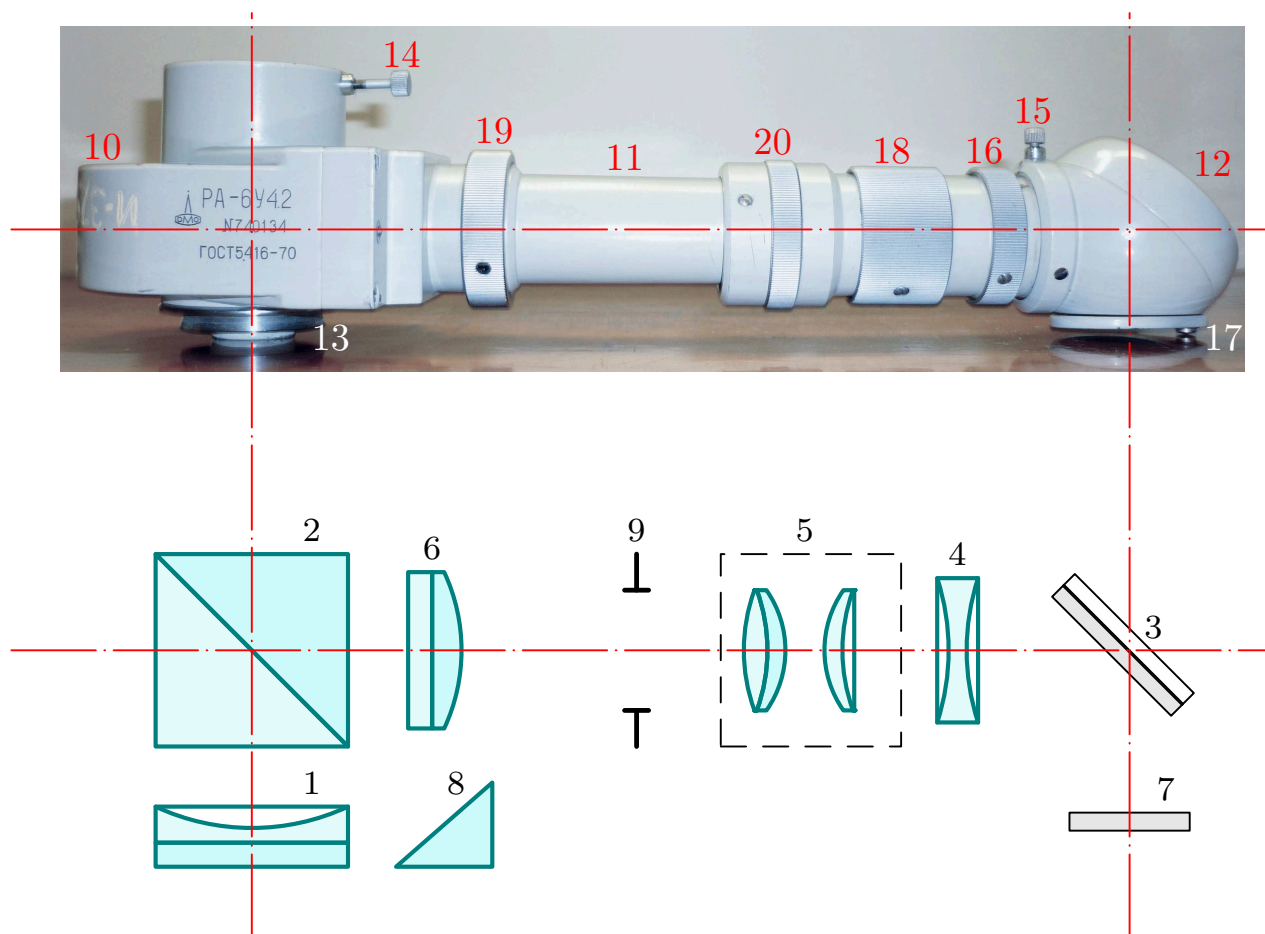


Рис. 6.1. Рисовальный аппарат. Внешний вид и оптическая схема

Общий вид рисовально-проекторного аппарата РА-6 и его оптическая схема представлены на рисунке 6.1. Аппарат состоит из корпуса (10), патрубка (11) и головки (12) с зеркалом (3). В корпусе помещены ахроматическая тубусная линза (1), призма-куб (2) с линзой (6) и призмой (8). Снизу на корпусе (10) имеется фланец (13) для установки аппарата на микроскоп вместо монокулярной насадки, которая затем устанавливается сверху корпуса в гнездо и закрепляется винтом (14). Головка (12) с зеркалом (3) может быть повернута на патрубке (11) в нужное положение и закреплена винтом (15). С помо-

щью кольца (16) перемещается линза (4), служащая для получения резкого изображения листа бумаги (в работе – масштабной линейки) в плоскости, полевой диафрагмы окуляра. В оправу (17) вставляются сменные светофильтры или экранирующий диск (7). С помощью кольца (18) передвигается панкратическая система линз (5). Поворотом кольца (19) осуществляется перемещение призмы-куба (2) с линзой (6) и призмой (8), что обеспечивает переход от рисовального варианта к проекционному и наоборот. Кольцом (20) регулируется раскрытие диафрагмы (9) поля зрения.

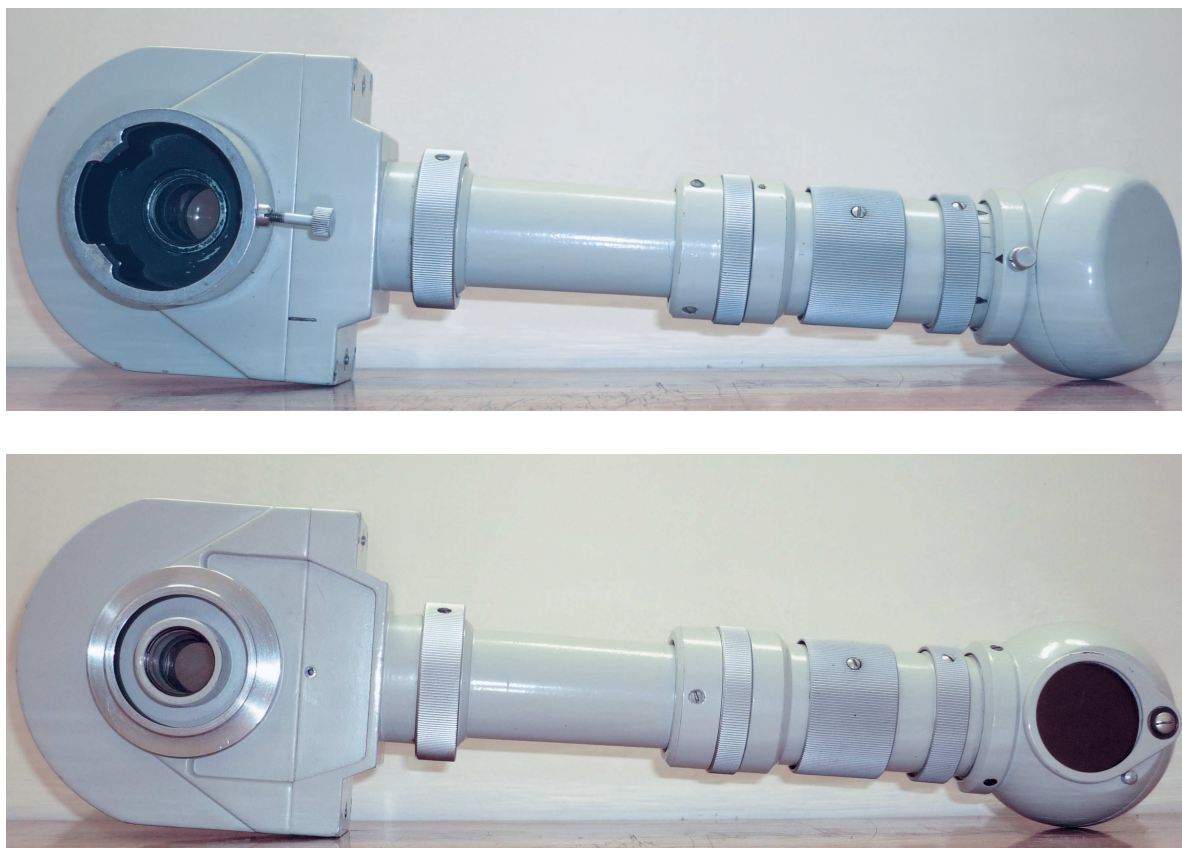
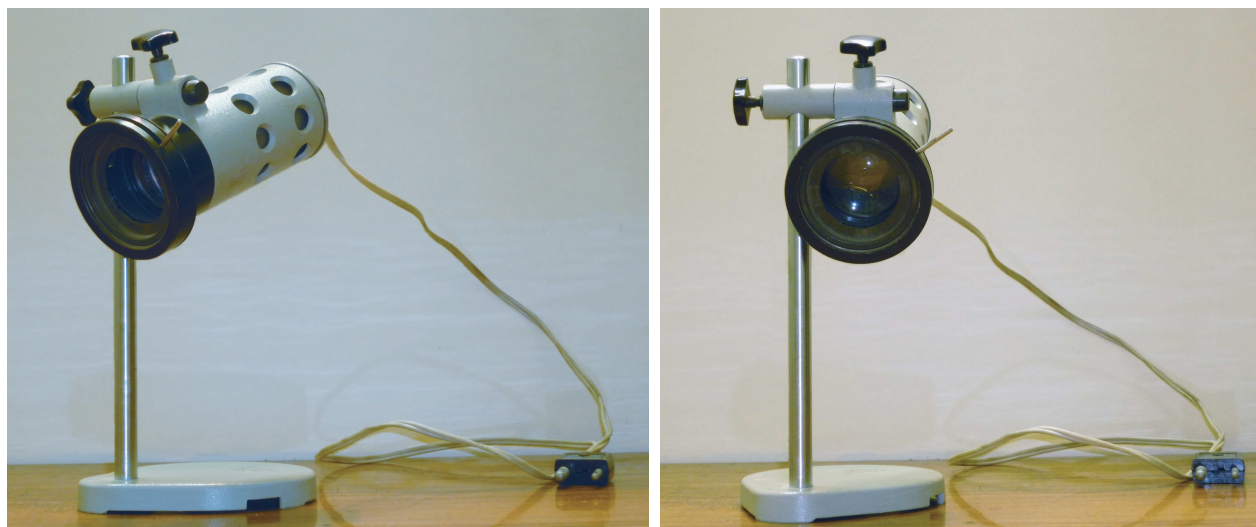


Рис. 6.2. Рисовальный аппарат. Вид сверху и вид снизу

6.2. Микроскоп с рисовальным аппаратом



6.3. Источник света



6.4. Использование рисовального аппарата в отраженном свете

